麦红吸浆虫在我国的发生、危害及防治

段　云[1,2]，蒋月丽[1]，苗　进[1]，巩中军[1]，
李　彤[1]，武予清[1,*]，罗礼智[2,*]
（1. 河南省农业科学院植物保护研究所，河南省农作物病虫害防治重点实验室/农业部华北南部有害生物治理重点实验室，郑州 450002；
2. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京 100193）

摘要：麦红吸浆虫 *Sitodiplosis mosellana* 是我国的一种重要农业害虫，以幼虫危害小麦正在发育的籽粒，可造成小麦严重减产，甚至绝收。该害虫具有虫体小，滞育时间长，为害隐蔽等特点。近些年来，受全球气候变化、耕作制度改变、小麦品种更换、人类活动等多种因素的影响，麦红吸浆虫在我国的发生危害情况发生了很大变化，出现了北扩东移的现象。麦红吸浆虫主要分布在我国的北方麦区，发生为害具有隐蔽性、间歇性、局部性和暴发性的特点。这种害虫的发生危害受虫源基数、生态因子、农业生产措施及人类活动等多种因素的影响。进入 21 世纪后，麦红吸浆虫在我国的发生范围发生了很大的变化，且主要分布在 43°N 以南到 27°N 以北的冬小麦主产区。有关麦红吸浆虫滞育的多态性、小麦对麦红吸浆虫的抗性机理、抗性品种的选育和天敌资源的开发等方面的研究将是今后的主要研究方向；未来仍需加强对麦红吸浆虫滞育的分子机制、发生危害规律、预测预报、综合防治和寄主植物-麦红吸浆虫-天敌三级营养关系等方面研究。本综述可为今后了解麦红吸浆虫在我国的发生危害规律、预测预报及综合防治等提供参考。

关键词：麦红吸浆虫；小麦；发生；危害；影响因子；综合防治
中图分类号：Q968　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2013)11-1359-08

Occurrence, damage and control of the wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae), in China

DUAN Yun[1,2], JIANG Yue-Li[1], MIAO Jin[1], GONG Zhong-Jun[1], LI Tong[1], WU Yu-Qing[1,*], LUO Li-Zhi[2,*] (1. Key Laboratory of Crop Pest Control of Henan Province/Key Laboratory of Crop Integrated Pest Management of the Southern of North China, Ministry of Agriculture, Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: The wheat midge, *Sitodiplosis mosellana*, is one of the most important pests in China. The larvae of this pest feed on the developing wheat kernel and can cause serious yield losses in wheat, even no harvest. This pest has the characteristics of small body, long diapause duration and concealed damage. In recent years, the wheat midge has been affected by global climate change, change of cropping system, wheat cultivars and human activities, which cause a great change in the occurrence of this pest, with an expansion tendency to Northeast China. This midge is mainly distributed in the wheat production areas in the northern China. Its occurrence is hidden, intermittent, local and abrupt, and is affected by various factors, such as the base number of its population, ecological factors, measurements of agricultural productivity and human activities. Since the 21st century, the occurrence of this midge has changed a lot, and it was mainly distributed in the winter wheat production areas (latitude 27°–43°N). Polymorphisms in the diapause, the resistance mechanism of wheat to this midge, breeding of the resistant wheat varieties and exploitation of natural enemies are the main directions of future researches, and such studies as the molecular mechanisms of diapause, the law of occurrence and damage, forecasting, integrated control and the plant-midge-natural enemy relationship should be strengthened in the future. This review provides references for further understanding of the laws of occurrence and

基金项目：国家小麦产业体系地下害虫岗位(CARS-03)
作者简介：段云，女，1981 年生，安徽涡阳人，博士，助理研究员，研究方向为昆虫分子生物学，E-mail：duanyunhao@163.com
* 通讯作者 Corresponding authors, E-mail：yuqingwu36@hotmail.com；lzluo@ippcaas.cn
收稿日期 Received：2013-07-08；接受日期 Accepted：2013-11-05

damage, forecasting and the integrated control of *S. mosellana* in China.

Key words: *Sitodiplosis mosellana*; wheat; occurrence; damage; influencing factors; integrated control

麦红吸浆虫 *Sitodiplosis mosellana* (Gehin)，俗称麦蛆，隶属双翅目瘿蚊科(Cecidomyiidae)，是我国北方麦区的一种重要农业害虫。由于麦红吸浆虫具有虫体小，在土壤中滞育时间长，在田间呈岛屿型分布和发生危害具有隐蔽性、间歇性和周期性的特点(Wise and Lamb, 2004; Liatukas *et al*., 2009; 郁振兴等, 2011)，长期以来一直是威胁小麦生产的重要害虫。

麦红吸浆虫在我国的发生危害历史悠久。早在1314 年鲁明善著《农桑摄要》和 1760 年张宗法著《三农记》中就已有关于防治吸浆虫的记载。自 20 世纪中期以来，麦红吸浆虫在我国出现了 3 次大发生，分别在 20 世纪 50 年代，20 世纪 80 – 90 年代和 21 世纪初期(武予清等, 2011)，并且其发生危害情况也发生了很大的变化。

20 世纪 50 年代，麦红吸浆虫主要发生在我国平原地区的河流两岸，发生的省份包括宁夏、青海、甘肃、陕西、山西、河南、安徽、江苏、浙江、湖南、湖北和四川等省(自治区)(刘家仁, 1964)。这一时期，麦红吸浆虫曾在陕西、河南等省份大面积发生，导致小麦减产 30%~50%，个别地块绝收。60 年代麦红吸浆虫得到有效控制，并将其危害程度降到了最低。

进入 20 世纪 80 年后，由于六六六等药剂停止使用，麦红吸浆虫的虫口数量逐年累积，发生危害又有所回升，发生面积也呈现扩大蔓延的趋势。与 20 世纪 50 年代相比，麦红吸浆虫在华北平原的发生区向北扩展了 3 个纬度。这一时期，发生省份包括宁夏、青海、甘肃、陕西、山西、安徽、河南和河北等省(自治区)(武予清等, 2011)。进入 20 世纪 90 年代后，连续多年春季干旱，抑制了麦红吸浆虫的发生，大部分地区发生轻微。但在水浇地、低洼地、高产麦田等地仍适宜其生存，土壤中仍有不少休眠幼虫，如 1990 年山东鲁西南地区、1996 年陕西黄陵县等地区局部成灾(李建军等, 1999)。

21 世纪以来，麦红吸浆虫在北京的房山、丰台、怀柔，天津的宝坻、蓟县，河北的唐山、石家庄、保定、廊坊，山东的临沂、新泰等多处地块成灾。河南、河北、山东、陕西成为其发生危害比较严重的省份(武予清等, 2011; 伏召辉等, 2011)。江苏、浙江、湖南、湖北和四川等过去曾经发生过麦红吸浆虫危害的省份，近些年来却未见其发生危害的报道。

近些年来，受全球气候变化、耕作制度改变、小麦品种更换、人类活动及其他因素的影响，麦红吸浆虫在世界上多个国家的发生危害有显著回升的趋势，而在我国的发生情况变化更加明显(乔日红, 2007; Liatukas *et al*., 2009; 张智等, 2012)。目前，我国已有关于麦红吸浆虫的发生危害规律和综合防治等方面的研究报道(袁锋等, 2003; 屈振刚等, 2006; 乔日红, 2007; 魏长安等, 2007)，但还不够全面和系统。本文在前人研究的基础上，综述了麦红吸浆虫在我国的分布范围，为害症状和特点，发生危害的影响因素，以及近年来在我国的发生情况和综合防治等，为今后了解麦红吸浆虫的发生危害规律、预测预报及综合防治等提供参考。

1 麦红吸浆虫的寄主植物、危害症状和特点

1.1 麦红吸浆虫的寄主植物

麦红吸浆虫为寡食性昆虫，以禾本科植物为主要寄主。小麦是麦红吸浆虫的主要寄主。除小麦外，麦红吸浆虫还可为害大麦、黑麦、青稞、鹅观草、燕麦和雀麦等(Barnes, 1956; 武予清等, 2010)。麦红吸浆虫也可以在其他禾本科植物[如狗尾草 *Alopecurus myosuroides* Hudson 和纤毛鹅冠草 *Roegneria ciliaris* (Trin.) Nevski]上产卵或完成生命周期(Janet and Mangala, 2008)，并可通过杂草传播。

小麦是世界上第二大粮食作物，也是麦红吸浆虫的最适宜寄主。在大田栽培条件下，小麦属的 17 个种(包括普通小麦 *Triticum aestivum* L. 和硬粒小麦 *Triticum durum* Desf. 等)均是麦红吸浆虫的寄主(Janet and Mangala, 2008)。麦红吸浆虫的大多数寄主同时也是田间杂草，因此分布范围较为广泛，除鹅观草外，其他几种寄主，如野燕麦、雀麦、野大麦和节节麦等在田间地头、渠道沟边、林地和荒地等地方都可以见到分布。

1.2 麦红吸浆虫的危害症状及特点

小麦受到麦红吸浆虫为害后，植株和籽粒都会受到一定程度的影响。麦红吸浆虫以幼虫潜伏在小麦的颖壳内，吸食正在灌浆发育的籽粒汁液，可造

成麦粒瘪疮、空壳或霉烂，一般可减产 10%～20%，重则减产 30%～50%，严重的甚至绝产失收（袁锋等，2003；武予清等，2011）。另外，麦红吸浆虫的危害也会影响小麦的品质，造成巨大的经济损失。

1.2.1　对植株的影响：与在地下的存活时间相比，麦红吸浆虫幼虫在寄主植物上的为害时间较短。受到为害的小麦植株，一般直立不倒，并形成"假旺盛"状态。受害的麦穗常出现颖壳松、种皮薄、灌浆慢、抽穗不整齐等症状。受害麦粒的有机物被吸食后，常常出现"千斤的长势"，却仅有几百斤甚至几十斤产量的悲剧。麦红吸浆虫在麦穗不同部位的为害总体趋势是上、中部受害程度大于下部，但不同田块之间有差异（伏召辉等，2011）。麦穗局部受到为害时可导致变形，并且摸起来柔软，看起来比正常的细长（武予清等，2011）。麦粒的表皮通常变形，并且容易滋生次生真菌（Bruce *et al*.，2007）。

1.2.2　对籽粒的影响：麦红吸浆虫发生危害后也可影响小麦籽粒的产量和品质，使其部分或完全受到损害。麦红吸浆虫对小麦籽粒的为害程度受寄主种类、侵染时期、种植面积、气候条件、土壤条件和天敌等多种因素的影响。平均每个受害麦穗上幼虫数达到 15 头时，便可造成小麦减产（Lamb and Kurppa，2000）。幼虫取食籽粒时会释放酶类物质，破坏籽粒的细胞壁，并将淀粉转化成简单的糖类物质，结果造成籽粒萎缩变小，变轻，破裂和变形。麦红吸浆虫成虫可作为携带微生物的载体，影响籽粒的品质。麦红吸浆虫的为害也会对籽粒的农艺性状产生不利影响，如影响种子发芽和幼苗早期活力等（Helenius and Kurppa，1989；Lamb *et al*.，2000）。

2　影响麦红吸浆虫发生危害的因素

麦红吸浆虫对寄主植物的危害程度主要受三方面因素的影响：种群密度，空间分布及产卵与寄主植物的物候同步性（Olfert *et al*.，2009）。然而，影响麦红吸浆虫发生危害和成灾的因子却有多种，如虫源基数、生态因子、植被类群、农业生产措施及人为因素等（袁锋，2003；魏长安等，2007；Liatukas *et al*.，2009；Elliott *et al*.，2011）。麦红吸浆虫的发生时间因气候、地区、地势、地形和年份的不同，发生期或迟或早，但都与当地种植的小麦品种生育期密切相关。

2.1　生态因子

对麦红吸浆虫来说，影响其发生危害的生态因子包括温度、湿度（降雨）、风、阳光、土壤、地形、地势、海拔、寄主植物种类和生长情况以及天敌等（袁锋，2004），其中以温度和湿度最为重要。

2.1.1　温度：麦红吸浆虫只有在温度比较适宜的情况下，才能羽化产卵为害（袁锋，2004；Elliott *et al*.，2009），因此温度是影响麦红吸浆虫成灾最主要的因素之一，且主要影响其发生期的迟早。麦红吸浆虫幼虫耐低温不耐高温。夏季高温影响其幼虫的存活率（室内 39℃以上高温及干燥条件下的死亡率达 50%～95%），成虫羽化数量、雌雄比例及雌虫抱卵量等（成卫宁等，2002）。因此，夏季出现极端高温不利于翌年麦红吸浆虫的发生。

2.1.2　湿度：当温度条件具备时，降雨和湿度则成为影响麦红吸浆虫发生危害的关键因素，并且是影响其种群发生数量的主导因素。降雨直接影响大气湿度及土壤含水量，对麦红吸浆虫幼虫解除滞育、化蛹和羽化都有一定的影响，尤其是早春时节降雨，对其出土会起到明显的促进作用（仵均祥等，2000）。研究表明，越冬幼虫破茧活动与上升化蛹，必须有足够的湿度。麦红吸浆虫化蛹的适宜土壤湿度为 70% 左右，50% 以下时则很难化蛹。当田间土壤含水量低于 15%，成虫很少羽化，含水量超过 20%，成虫羽化率极高。特别是长时间多雾雨露下，成虫极易产卵，幼虫也易于活动入侵。另外，湿度对麦红吸浆虫卵的孵化、老熟幼虫的脱穗入土，越夏死亡率和休眠体打破滞育等也具有一定的影响。

2.1.3　光照：麦红吸浆虫的活动及发生与光照也有一定的关系。童金春等（2007）研究表明，麦红吸浆虫老熟幼虫脱颖率与光线强弱成反比，光线越弱，脱颖率越高。宋军芳等（2009）研究表明，麦红吸浆虫的化蛹及成虫羽化也受光照的影响。一般情况下，充足的光照条件有利于麦红吸浆虫的化蛹及成虫羽化出土。

2.1.4　土壤和地势：麦红吸浆虫幼虫喜碱性土壤，粘土和翻耕土壤对其生活不利，砂土更不适宜其生活（袁锋，2004）。土壤含水量对麦红吸浆虫幼虫破茧和结茧、干物质消耗及死亡率等的影响较大。壤土团粒结构好，土质松软，有相当的保水力和渗水性，且温度变化小，最适宜麦红吸浆虫的发生。干燥土壤中的麦红吸浆虫的死亡率较高湿土壤中的死亡率高。一般情况下，麦红吸浆虫在低洼地的发生比坡地多，在阴坡的发生又比阳坡多。

2.1.5　风：风是影响麦红吸浆虫近距离扩散传播

的主要因素。通常麦红吸浆虫成虫飞翔高出麦株10 cm左右，但也可达3～4 m以上，最高可达30 m。无风时，麦红吸浆虫成虫一般一次飞翔2 m左右，顺风时一次可飞翔40 m以上。大风天气麦红吸浆虫成虫则潜伏在麦丛间不飞翔（袁锋，2003）。

综上所述，麦红吸浆虫的活动及发生危害与温度、降水（湿度）、光照、风等气候因子密切相关，并且温度、降水和光照等对其出土羽化早晚及羽化率起着决定性的作用。因此，适宜的温度、湿度、光照相互作用，是造成麦红吸浆虫发生严重的主要原因。但麦红吸浆虫能否大面积发生，除受气候条件制约外，还与其卵密度等因素有关。

2.2 寄主植物

寄主植物能够为麦红吸浆虫提供取食、产卵、活动和栖息等场所，同时也能为其提供生态保护作用（Birkett *et al.*，2004）。但是，寄主种类不同，对麦红吸浆虫的取食、产卵、后代存活和其他行为的影响作用也不同（Lamb *et al.*，2001，2003）。研究表明，麦红吸浆虫虽然能够取食多种寄主植物，但最喜欢取食的是小麦（Helenius and Kurppa，1989；Ganehiarachchi and Harris，2007），而对其他寄主植物不敏感，一般为害也不严重，通常不需要防治（Wright，1987）。小麦品种不同，特征特性各异，如抽穗期的迟早，开花时间的长短，颖壳扣合的松紧，子房皮部的薄厚，均与麦红吸浆虫的产卵、孵化、入侵为害有着密切的关系。因此，当多种寄主同时存在时，麦红吸浆虫对不同寄主植物的侵染率和抗性也存在差异。凡小穗稀松，麦壳薄而又合得不紧的，利于成虫产卵和幼虫侵入。寄主抽穗，扬花和灌浆时间长短对麦红吸浆虫成虫的羽化、产卵、存活和为害等都有重要影响。

另外，麦红吸浆虫的生活史和发生危害程度与寄主植物的生育期有很大的关系（仵均祥等，2000；武予清等，2011）。虽然麦红吸浆虫化蛹和羽化的迟早因各地气候差异而不同，但基本上都与小麦的生育期相吻合。麦红吸浆虫的成虫羽化、卵的孵化和幼虫入颖为害及老熟幼虫落土、休眠等发生阶段分别要求与其寄主植物的抽穗、扬花、灌浆等生育期相吻合，若两者在时间上出现偏差，就会对吸浆虫的存活、繁殖、为害程度和来年的虫口数量等造成不良影响。此外，麦红吸浆虫的产卵习性对寄主植物的生育阶段也有严格的选择性，并且常是导致在同一地区不同生育阶段的小麦品种遭受吸浆虫危害程度不同的原因之一。

2.3 农业生产措施和农事活动

农业生产措施包括小麦品种的更换、耕作方式和作物布局的改变，水利条件的变化，种植制度改革等，农事活动如种子调运、联合收割机的使用、灌溉以及人们的重视程度等，这些因素对麦红吸浆虫的发生危害都会产生一定的影响。一般情况下，旱作田、小麦连作和小麦与大豆轮作的麦田受麦红吸浆虫的危害较重；而水旱轮作的地区常受害较轻。春后灌水和追肥对麦红吸浆虫的发生危害也有一定的促进作用（袁锋，2004）。农事活动如推广种植感虫品种，小麦复种指数提高、耕翻次数减少、水利条件改善等为麦红吸浆虫的生存及田间繁殖提供了良好条件，导致其虫口密度逐年提高。另外，种子调运、联合收割机的使用和灌溉等，不仅会促进麦红吸浆虫的扩散传播和不同种群间的基因交流，同时对其遗传多样性、种群遗传结构及其对生态环境的适应能力等也会产生一定的影响，进而对其发生危害起到促进作用。

2.4 天敌

目前，在自然界中已知的麦红吸浆虫天敌有10多种，其中捕食类的有草蛉、步甲、瓢虫、蚂蚁、蓟马、猎蝽、蜘蛛和食蚜蝇等（袁锋，2004；武予清等，2011）。麦红吸浆虫的寄生昆虫种类较多，控制作用也比较明显，但主要为寄生蜂（包括寄生于卵、幼虫和蛹体的寄生蜂）。目前，已报道的麦红吸浆虫寄生蜂主要有宽腹寄生峰、光腹寄生峰、背弓寄生峰、圆腹寄生峰、啮小蜂和广腹细蜂等，但只有宽腹寄生峰和尖腹黑蜂发生普遍，作用较大。研究表明，寄生于麦红吸浆虫滞育幼虫体内的寄生蜂，在土壤中可以存活6年左右，因此可作为麦红吸浆虫发生延迟的密度制约因子，在控制其种群增长中发挥作用（袁锋，2004）。另外，微生物对麦红吸浆虫数量也有重要的控制作用，特别是在高温高湿条件下，真菌很容易在其幼虫体内寄生，使其致死。

3 近些年来麦红吸浆虫在我国的发生危害动态及其原因分析

进入21世纪后，麦红吸浆虫在我国的发生危害又有显著回升的趋势，发生范围也发生了很大的变化，且主要分布在北纬43°以南到27°以北的冬小麦主要产区。很多地区的麦红吸浆虫发生危害已从点片发生、局部严重发生发展到普遍严重发生。

2001年在河北南和县，2002－2004年在北京

房山县，均出现麦红吸浆虫较大范围内严重成灾的田块。2004 年在北京房山县和河北徐水县等地区，麦红吸浆虫发生严重的田块中，其虫口密度达到平均每样方 130 ~ 670 头，最高达 1 000 余头。2002 年以来，麦红吸浆虫在甘肃省的春麦区及河南、河北等省份的麦区仍有进一步蔓延致灾的趋势。河南和河北等小麦主产区已成为受害最为严重的省份，常年发生面积在 200 万公顷以上（武予清等，2011）。北京，天津，河北的唐山、栾城和徐水，山东的临沂、新泰等都成为麦红吸浆虫的新发生区，局部地区暴发成灾（伏召辉等，2011）。2011 年，麦红吸浆虫主要发生在河南、河北、陕西、天津、北京、安徽等地，发生面积达 3 700 万亩。2013 年麦红吸浆虫在陕西关中地区、河南黄河以北 5 个地市以及河北中南部大面积发生，3 省的发生面积高达 3 350 万亩，再次对我国小麦主产区的生产造成严重威胁。

研究认为造成近年来麦红吸浆虫在我国的种群数量变动、发生范围扩大和危害情况加重的原因有多种，如自然因素、农业生产措施和人类活动等，同时也与麦红吸浆虫自身的生物学特性和远距离扩散能力有关（屈振刚等，2006；苗进等，2011；张智等，2012；Miao *et al*.，2013），总结起来主要有以下几个方面：

首先，气候因素。气候因素是影响麦红吸浆虫普遍大发生的主要因素。（1）温度影响麦红吸浆虫的发育历期、成虫羽化率和幼虫的休眠等，因此是影响麦红吸浆虫生长发育和发生危害的主要因素。冬季低温、夏季高温常引起越夏、越冬麦红吸浆虫幼虫大批死亡。近年来，全球变暖，气温普遍升高，使麦红吸浆虫在我国适生区的南界和北界发生了很大的变化，出现了北扩东移的现象。（2）湿度。雨水和湿度在麦红吸浆虫生活的各个环节都起着重要的作用，有时甚至起着决定性的作用。麦红吸浆虫的越冬幼虫只有在一定的湿度条件下，才能破茧上升；卵孵化为初龄幼虫也离不开水分。麦红吸浆虫耐水湿润，能在淹水条件下生活一个月以上，但水分过多对其并不有利，因而其在我国多分布在旱作地区，而在水田则不能长期生存，所以高温与水湿又是其向南分布的限制因素。

其次，人类活动。近些年来，农业生产水平的提高，耕作制度和耕作方式的改变，种植结构的调整等，增加了麦红吸浆虫在土壤中的存活率，如秸秆清理与否和旋耕次数的多少，对麦红吸浆虫的发生情况会有影响（王宏立等，2008）。小麦品种的更新（大量地使用感虫品种）和复种指数提高，化学防治不得力（导致天敌数量减少），河道的开挖，种子调运，水利条件的变化及联合收割机的跨区作业等，也是导致麦红吸浆虫发生面积直线上升，危害程度日益严重的重要原因（袁锋等，2003；高军等，2009）。此外，麦红吸浆虫的预测预报系统不健全，对其发生危害认识不足，防治不及时等也是造成其日趋严重或暴发成灾的原因之一（乔日红，2007）。

再次，麦红吸浆虫成虫的扩散传播。虽然麦红吸浆虫成虫身体纤弱，飞行力不强，但也具有一定的扩散能力（袁锋，2004）。麦红吸浆虫成虫可借助气流进行远距离扩散传播（苗进等，2011；Miao *et al*.，2013），幼虫和蛹可以随水流、联合收割机的跨区作业和种子调运等由一个地区远距离传播到另一个地区（袁锋，2004；Olfert *et al*.，2009；高军，2009）。这些因素都加速了其传播速度和在不同地区种群间的基因交流和遗传变异，进而加速了其进化和对环境的适应能力。因此，由各种因素所引起的麦红吸浆虫的远距离传播，也是导致近年来其发生危害加重的重要原因之一。

最后，近些年来，受除草剂使用、种子调运等多种因素的影响，麦田杂草群落结构发生变化，野燕麦、节节麦、雀麦等禾本科杂草已上升为优势种群，发生面积不断扩大，也为麦红吸浆虫的栖息存活、传播扩散提供了一定的客观条件。

4　麦红吸浆虫的预测预报及综合防治

4.1　麦红吸浆虫的预测预报

根据预测预报的内容，可将麦红吸浆虫的预测预报分为：（1）发生程度趋势预报，即通过调查麦红吸浆虫的基数，对其发生基数与危害程度的关系进行预测；（2）中期防治适期预报，即通过调查其蛹的发育进度来掌握其成虫的羽化盛期；（3）成虫发生期的短期预报，即根据成虫发生量、发生时期预报成虫发生盛期、确定防治田块；（4）危害程度调查与产量损失测定，主要包括剥穗调查和产量损失测定。目前，我国吸浆虫的发生预测主要依靠农业部 2002 年 12 月 30 日发布的《小麦吸浆虫测报调查规范》的淘土方法，辅助以成虫网捕监测（武予清等，2008）。麦红吸浆虫的发生危害程度除与其虫口密度密切相关外，还受环境因素的影响。因此，在预测预报过程中，还要密切注意气候因素，如温

度、降雨和土壤等的变化趋势，以便更加准确地预测麦红吸浆虫的发生期、发生量和危害程度。

近些年来，我国在麦红吸浆虫的预测预报上也开展了一些研究工作，如张映梅等(2003)发展了一种新的预测预报方法，即模拟人工神经网络对麦红吸浆虫发生程度进行预测；仵均祥等(2005)对麦红吸浆虫的淘土调查方法进行了改进；武予清等(2008, 2011)总结了麦红吸浆虫的预测预报方法；陈浩等(2011)研究了麦红吸浆虫发生与小麦产量损失间的关系。随着预测预报方法的改进，今后还有望利用性信息素诱捕器或粘虫板(黎丹等, 2012)来预测麦红吸浆虫成虫的发生期和发生量。

4.2 麦红吸浆虫的综合防治

4.2.1 麦红吸浆虫的防控技术策略：麦红吸浆虫防控是一项技术性很强的工作。在21世纪之前，我国主要提倡“主攻蛹期，成虫期扫残”的防治对策(陈巨莲和倪汉祥, 1998)。但这种策略已不适应当前麦红吸浆虫防治和生态保护的要求。进入21世纪以后，我国又提出将小麦抽穗70%~80%作为麦红吸浆虫成虫期的防治适期(曾显光等, 2001；袁伟, 2011)。根据麦红吸浆虫的发生危害特点和我国的基本国情，我国在麦红吸浆虫的防控上总体上坚持“预防为主、综合防治”的植保方针、“兼防一般田块，普防达标田块，统防重发田块”的防治原则和“系统监测，穗期保护，分级化防”的防控技术路线。

4.2.2 防治方法：麦红吸浆虫的防治主要采用3种方法：农业防治、生物防治和化学防治(武予清等, 2011)。目前主要以化学防治为主，农业防治和生物防治为辅。从长远的角度考虑，今后应发展以农业防治和生物防治为主，化学防治为辅的绿色防治策略，同时应加强对抗虫品种的选育和天敌资源的保护。

(1)农业防治。1)选用抗虫品种。这类品种对麦红吸浆虫的产卵、幼虫入侵和为害不利，可使小麦受害减轻。利用抗性品种是控制麦红吸浆虫的一项经济、有效和安全的措施(孙四台等, 1998)。2)栽培措施。主要包括调整作物布局，实行轮作倒茬，深翻地，调整播种期等农业生产措施(屈振刚等, 2006)。另外，加强田间管理，合理减少春灌，施足基肥，春季少施化肥等措施，也可以避开或减少麦红吸浆虫的危害。

(2)生物防治。田间麦红吸浆虫的寄生性天敌种类较多(如寄生幼虫的啮小蜂)，自然条件下寄生率较高。另外，捕食性天敌，如蚂蚁(捕食幼虫)、蜘蛛、盗虻(捕食成虫)和六点蓟马(捕食卵)等，对麦红吸浆虫的虫口数量也有一定的控制作用(李建军等, 1999)。

(3)化学防治。麦红吸浆虫的化学防治有3个时期，即麦播期的土壤处理，春季拔节至孕穗期的土壤封闭和穗期的成虫防治。21世纪以前，人们普遍认为蛹期防治和成虫期防治是麦红吸浆虫防治的两个主要时期，而蛹盛期则是防治的最好时机(曾显光等, 2001)。其中，蛹盛期防治以撒毒土为主，宜选用50%辛硫磷或40%甲基异柳磷乳油等制作成毒土。成虫期防治，一般在小麦抽穗开花期，除撒毒土外，也可喷粉、喷雾。麦红吸浆虫成虫的抗药性不强，凡能防治蚜虫的药剂都可用于防治麦红吸浆虫成虫，如可用乐果、辛硫磷、溴氰菊酯、杀灭菊酯等对水喷雾。进入21世纪后，根据麦红吸浆虫发育的物候特征明显的特点，又将小麦抽穗70%~80%作为其成虫防治的最佳时期(袁伟, 2011)。

5 小结与展望

麦红吸浆虫是一种难以防控的农业害虫，发生危害具有隐蔽性、间歇性、局部性和暴发性的特点。近些年来，麦红吸浆虫在我国的发生危害呈加重的趋势，而在局部地区暴发成灾和扩散蔓延的趋势更加明显，这不仅与其自身的生物学特性和远距离扩散能力有关，同时还受全球气候变化，农药与小麦品种的更新以及耕作方式改变等人类活动的影响。目前，我国在麦红吸浆虫滞育的分子机制和扩散成灾规律等方面的研究还不够深入，尚有许多问题没有解决。因此，今后应加强对麦红吸浆虫滞育的分子机制(如滞育的多态性问题)、发生危害规律(如扩散传播方式、发生区域变化的原因及新发生区的虫源问题等)、预测预报(如防治标准的制定和预测预报方法的改进等)、综合防治(如小麦对麦红吸浆虫的抗性机理，抗性品种的选育，天敌资源的开发，化学防治的新对策和新技术等)和寄主植物-麦红吸浆虫-天敌三级营养关系等方面的研究，为今后揭示其发生危害规律、预测预报和综合防治等提供参考。

参考文献(References)

Barnes HF, 1956. Gall Midges of Economic Importance: Gall Midges of

Cereal Crops. Vol. VII. Crosby Lockwood & Son, London, UK. 57 – 80.

Birkett MA, Bruce TJA, Martin JL, Smart LE, Oakley J, Wadhams LJ, 2004. Responses of female orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana*, to wheat panicle volatiles. *J. Chem. Ecol.*, 30(7): 1319 – 1328.

Bruce TJA, Hooper AM, Ireland L, Jones OT, Martin JL, Smart LE, Oakley J, Wadhams LJ, 2007. Development of a pheromone trap monitoring system for orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana*, in the UK. *Pest Manag. Sci.*, 63(1): 49 – 56.

Chen H, Li YP, Gao HL, Xue GN, Xiao ZH, Liu YF, Wu JX, 2011. Relationship between wheat yield loss and wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin). *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 20(7): 37 – 40. [陈浩，李怡萍，高宏利，薛改妮，肖智辉，刘彦飞，仵均祥，2011. 小麦吸浆虫发生与小麦产量损失间的关系. 西北农业学报，20(7): 37 – 40]

Chen JL, Ni HX, 1998. Research progress in wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae). *Entomological Knowledge*, 35(4): 240 – 243. [陈巨莲，倪汉祥，1998. 小麦吸浆虫的研究进展. 昆虫知识，35(4): 240 – 243]

Cheng WN, Li XL, Li JJ, 2002. The effect of the high temperature in summer on occurrence of wheat blossom midge next year. *Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica*, 11(4): 13 – 15. [成卫宁，李修炼，李建军，2002. 夏季高温对翌年小麦吸浆虫发生的影响. 西北农业学报，11(4): 13 – 15]

Elliott B, Olfert O, Hartley S, 2011. Management practices for wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin). *Prairie Soils and Crops Journal*, 4: 8 – 13.

Elliott RH, Mann L, Olfert O, 2009. Calendar and degree-day requirements for emergence of adult wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae) in Saskatchewan. *Canada Crop Protection*, 28(7): 588 – 594.

Fu ZH, Zheng YL, Zhang BQ, Zhang Y, Wu JX, 2011. Damage character and spatial distribution pattern of the larvae of wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin), in the ears of wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 31(1): 181 – 185. [伏召辉，郑余良，张宝强，张亚，仵均祥，2011. 小麦吸浆虫幼虫在麦穗上的危害特点及空间分布型研究. 麦类作物学报，31(1): 181 – 185]

Ganehiarachchi GASM, Harris MO, 2007. Oviposition behavior of orange wheat blossom midge on low- vs. high-ranked grass seed heads. *Entomol. Exp. Appl.*, 123(3): 287 – 297.

Gao J, Wang HJ, Wang CH, 2009. Investigation and analysis on the transmission of wheat blossom midge by cross-operating of combine harvester in Hebei province. *China Plant Protection*, 29(10): 5 – 8. [高军，王贺军，王朝华，2009. 河北省小麦吸浆虫随联合收割机跨区作业传播的调查分析. 中国植保导刊，29(10): 5 – 8]

Helenius J, Kurppa S, 1989. Quality losses in wheat caused by the orange wheat blossom midge *Sitodiplosis mosellana*. *Ann. Appl. Biol.*, 114(3): 409 – 417.

Janet K, Mangala G, 2008. Integrated pest management of the wheat midge in North Dakota. http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/pests/e1330.pdf.

Lamb RJ, Smith MAH, Wise IL, Clarke P, Clarke J, 2001. Oviposition deterrence to *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae): a source of resistance for durum wheat (Gramineae). *Can. Entomol.*, 133(4): 579 – 591.

Lamb RJ, Sridhar P, Smith MAH, Wise IL, 2003. Oviposition peference and offspring performance of a wheat midge *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae) on defended and less defended wheat plants. *Environ. Entomol.*, 32(2): 414 – 420.

Lamb RJ, Tucker JR, Wise IL, Smith MAH, 2000. Trophic interaction between *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) and spring wheat: implications for yield and seed quality. *Can. Entomol.*, 132(5): 607 – 625.

Li D, Ma C, Liu S, Wu YQ, He YZ, 2012. Trapping effects of sticky cards in different colors on adults of red wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin). *Acta Phytophylacica Sinica*, 39(5): 390 – 394. [黎丹，马晨，刘顺，武予清，何运转，2012. 不同色彩粘板对麦红吸浆虫成虫的诱集效果比较. 植物保护学报，39(5): 390 – 394]

Li JJ, Li XL, Cheng WN, 1999. Research progress and prospects in wheat midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae). *Tritical Crops*, 19(3): 51 – 55. [李建军，李修炼，成卫宁，1999. 小麦吸浆虫研究现状与展望. 麦类作物，19(3): 51 – 55]

Liatukas Ž, Ruzgas V, Šmatas R, 2009. *Sitodiplosis mosellana* – a new winter wheat pest in Lithuania. *Ekologija*, 55(3 – 4): 215 – 219.

Liu JR, 1964. The geographical distribution of the wheat midge in China. *Entomological Knowledge*, 8(5): 226 – 229. [刘家仁，1964. 我国小麦吸浆虫的地理分布. 昆虫知识，8(5): 226 – 229]

Miao J, Wu YQ, Gong ZJ, He YZ, Duan Y, Jiang YL, 2013. Long-distance wind-borne dispersal of *Sitodiplosis mosellana* Géhin (Diptera: Cecidomyiidae) in northern China. *J. Insect Behav.*, 26(1): 120 – 129.

Miao J, Wu YQ, Yu ZX Chen HS, Liu ST, Jiang YL, Duan Y, 2011. Trajectory analysis of long-distance dispersal of the wheat midge *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae), with air current. *Acta Entomologica Sinica*, 54(4): 432 – 436. [苗进，武予清，郁振兴，陈华爽，刘顺通，蒋月丽，段云，2011. 麦红吸浆虫随气流远距离扩散的轨迹分析. 昆虫学报，54(4): 432 – 436]

Olfert O, Elliott RH, Hartley S, 2009. Non-native insects in agriculture: strategies to manage the economic and environmental impact of wheat midge, *Sitodiplosis mosellana*, in Saskatchewan. *Biol. Invasions*, 11(1): 127 – 133.

Qiao RH, 2007. Reason analysis of wheat midge's distinct upward trend in the south of Shanxi province and its prevention countermeasures. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, (6): 87 – 89. [乔日红，2007. 山西南部地区小麦吸浆虫显著回升原因分析及防治对策. 山西农业科学，(6): 87 – 89]

Qu ZG, Wen SM, Zhao YX, Lu ZY, Sun H, 2006. Reason analysis and control strategies on the gradually increased *Sitodiplosis mosellana*

Géhin damage in Hebei province. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 10(1): 102 – 104. [屈振刚, 温树敏, 赵玉新, 陆子云, 孙会, 2006. 河北省麦红吸浆虫为害逐年加重的原因及防治对策. 河北农业科学, 10(1): 102 – 104]

Song JF, Liu HB, Bai JH, 2009. Research on the relationship between the dynamic and the meteorological conditions of wheat midge occurrence. *Farm Products Processing*, (5): 71 – 74. [宋军芳, 刘海波, 白家惠, 2009. 小麦吸浆虫发生动态与气象条件的关系探究. 农产品加工, (5): 71 – 74]

Sun ST, Ni HX, Ding HJ, Qu ZG, Zhang SF, 1998. Studies on the mechanism of biochemical resistance of wheat to wheat midge. *Scientia Agricultura Sinica*, 31(2): 24 – 29. [孙四台, 倪汉祥, 丁红建, 屈振刚, 张淑芬, 1998. 小麦对麦红吸浆虫生化抗性机制的研究. 中国农业科学, 31(2): 24 – 29]

Tong JC, Zhang HY, Song LY, Zhao BX, Tan XL, Sun ZC, Zhang DX, 2007. Studies on falling out of glumes of the mature larvae of wheat red blossom midge. *Plant Protection*, 33(3): 128 – 129. [童金春, 张海燕, 宋凌云, 赵保祥, 谭学留, 孙振成, 张多贤, 2007. 麦红吸浆虫老熟幼虫脱颖规律研究. 植物保护, 33(3): 128 – 129]

Wang HL, Zhang ZL, Zhang W, 2008. Effects of different tillage managements on soil temperature in cold and dry farming areas. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 39(1): 44 – 47. [王宏立, 张祖立, 张伟, 2008. 不同耕作方式对寒地旱作区土壤温度的影响. 沈阳农业大学学报, 39(1): 44 – 47]

Wei CA, Xu MX, Li X, 2007. Analysis of *Sitodiplosis mosellana* Géhin rising in Linfen city. *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 27(4): 414 – 415. [魏长安, 徐梦萧, 李霞, 2007. 临汾市小麦吸浆虫严重回升原因分析及防治策略. 山西农业大学学报(自然科学版), 27(4): 414 – 415]

Wise IL, Lamb RJ, 2004. Diapause and emergence of *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) and its parasitoid *Macroglenes penetrans* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Can. Entomol.*, 136(1): 77 – 90.

Wu JX, Li CQ, Cheng WN, Liu SJ, 2005. An improved method for removal of wheat midges from soil and its efficacy. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(1): 93 – 96. [仵均祥, 李长青, 成卫宁, 刘世建, 2005. 一种改进的小麦吸浆虫淘土调查方法及其效果. 昆虫知识, 42(1): 93 – 96]

Wu JX, Yuan F, Su L, 2000. Distribution and damaging characteristics of wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae) on wheat heads. *Acta Universities Agriculturalis Boreali-occidentalis*, 28(4): 40 – 44. [仵均祥, 袁锋, 苏丽, 2000. 麦红吸浆虫在小麦穗上的分布和危害特点. 西北农业大学学报, 28(4): 40 – 44]

Wu YQ, Jiang YL, Duan Y, 2008. Evaluation of monitoring methods in wheat midge. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, (8): 98 – 100. [武予清, 蒋月丽, 段云, 2008. 小麦吸浆虫监测方法评价. 河南农业科学, (8): 98 – 100]

Wu YQ, Liu ST, Duan AJ, Liu CY, Zhang ZQ, Jiang YL, Duan Y, 2010. A note of natural host cereals of *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) in western Henan province, China. *Plant Protection*, 36(5): 138 – 140. [武予清, 刘顺通, 段爱菊, 刘长营, 张子启, 蒋月丽, 段云, 2010. 河南西部小麦红吸浆虫禾本科寄主植物的记述. 植物保护, 36(5): 138 – 140]

Wu YQ, Miao J, Duan Y, Jiang YL, Gong ZJ, 2011. Research and Control of Orange Wheat Blossom Midge. Science Press, Beijing. [武予清, 苗进, 段云, 蒋月丽, 巩中军, 2011. 麦红吸浆虫的研究与防治. 北京: 科学出版社]

Yu ZX, Wu QK, Wu YQ, Yan FM, Li YG, Cai PF, 2011. Analysis of regional distribution of *Sitodiplosis mosellana* based on GIS. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 40(5): 124 – 127. [郁振兴, 吴乾坤, 武予清, 闫凤鸣, 李迎刚, 蔡朋飞, 2011. 麦红吸浆虫区域分布的 GIS 分析. 河南农业科学, 40(5): 124 – 127]

Yuan F, 2004. The Wheat Blossom Midges *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) and *Contarinia tritici* (Kirby): Their Plague Principle and Control. Science Press, Beijing. [袁锋, 2004. 小麦吸浆虫成灾规律与控制. 北京: 科学出版社]

Yuan F, Hua BZ, Wu JX, 2003. Studies on plagues caused by *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) and their law and control. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 31(6): 43 – 48. [袁锋, 花保祯, 仵均祥, 2003. 麦红吸浆虫的灾害与成灾规律研究 Ⅱ. 灾害出现的影响因子与控制. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 31(6): 43 – 48]

Yuan W, 2011. Study on suitable period of controlling wheat midge. *Modern Agricultural Science and Technology*, (11): 167 – 168. [袁伟, 2011. 小麦吸浆虫防治适期研究. 现代农业科技, (11): 167 – 168]

Zeng XG, Guo WB, Lu CH, 2001. Preliminary report of the suitable period of controlling wheat midge. *Plant Protection Technology and Extension*, 21(3): 6 – 8. [曾显光, 郭文彬, 卢成合, 2001. 小麦吸浆虫防治适期研究初报. 植保技术与推广, 21(3): 6 – 8]

Zhang YM, Li XL, Zhao HY, 2003. A neural network approach to occurrence degree forecasting for wheat midge. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agricultural and Forestry (Natural Science Edition)*, 31(Suppl.): 9 – 12. [张映梅, 李修炼, 赵惠燕, 2003. 模拟人工神经网络对小麦吸浆虫发生程度的预测. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 31(增刊): 9 – 12]

Zhang Z, Zhang YH, Cheng DF, Sun JR, Jiang JW, Yang LX, Liang XZ, 2012. Impacts of different tillage practices on population dynamics of the orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(5): 612 – 617. [张智, 张云慧, 程登发, 孙京瑞, 蒋金炜, 杨龙显, 梁相志, 2012. 耕作方式对麦红吸浆虫种群动态的影响. 昆虫学报, 55(5): 612 – 617]

(责任编辑: 袁德成)